Número 113
Febrero 1986

INVESTIGACION Y CIENCIA *Edición en español de* SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN

COMITE DE REDACCION Jonathan Piel (Presidente y director), Timothy Appenzeller, John M. Benditt, Peter G. Brown, Ari W. Epstein, Michael Feirtag, Robert Kunzig, Philip Morrison, James T. Rogers, Armand Schwab, Jr., Joseph Wisnovsky

DIRECCION ARTISTICA Samuel L. Howard
PRODUCCION Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL George S. Conn

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR Francisco Gracia Guillén
REDACCION José María Valderas Gallardo (Redactor Jefe)
Carlos Oppenheimer
José María Farré Josa
PRODUCCION César Redondo Zayas
PROMOCION EXTERIOR Pedro Clotas Cierco
EDITA Prensa Científica, S.A.
Calabria, 235-239
08029 Barcelona (ESPAÑA)

Colaboradores de este número:

Asesoramiento y traducción:

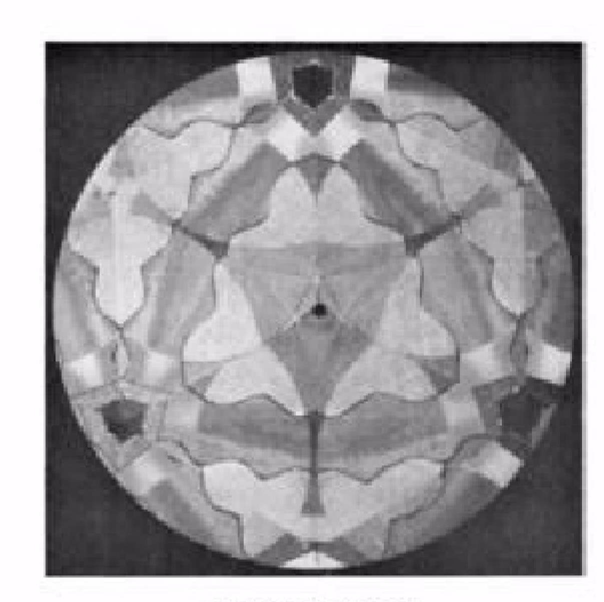
Josep-Enric Llebot: *Soporte lógico para la defensa antimisil*; Amando García Rodríguez: *Conjugación de fase óptica*; Manuel Crespo: *Comunicación por vía acústica en el grillo*; Isabel García Acha y Julio Rodríguez Villanueva: *SIDA y sistema inmunitario*; Luis Bou: *El teorema enorme* y *Juegos de Ordenador*; Mireia Bofill: *La alimentación en China*; Antonio Blanco Freijeiro: *Planos del templo de Apolo en Dídyma*; J. Vilardell: *Taller y laboratorio.*

Ciencia y sociedad:

Ricardo Génova y Juan Rius-Camps

Libros:

Carlos Pérez, Andrés de Haro, Antonio Lafuente y M. San Miguel



PORTADA

La fotografía de la portada muestra una imagen generada en un calidoscopio de polarización. Los trocitos de plástico transparente diferentemente tensados que hay en el extremo del tubo del calidoscopio opuesto al ocular cambian la polarización de la luz que penetra en el instrumento atravesando un filtro polarizador. En el extremo correspondiente al ocular hay un segundo filtro polarizador. Cuando se gira el tubo, se presentan a la vista diferentes trozos de plástico tensado. Como cada trozo cambia la polarización de la luz de un modo característico, parte de los colores del espectro luminoso atraviesan el segundo filtro polarizador y parte no. El observador contempla así una cambiante figura coloreada. En otros calidoscopios modernos se combina un diseño imaginativo con la técnica electrónica. En un modelo, los impulsos sonoros gobiernan un conjunto de diodos emisores de luz, de tal modo que la figura reluce y varía reaccionando a los sonidos (véase "Taller y laboratorio" en este mismo número).

Suscripciones:
Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
08029 Barcelona (España)
Teléfono 322 05 51 ext. 33-37

Condiciones de suscripción:
España:
Un año (12 números):
4400 pesetas (IVA incluido)
Extranjero:
Un año (12 números): 33 U.S. $
Ejemplar atrasado ordinario:
450 pesetas (IVA incluido)
Ejemplar atrasado extraordinario:
575 pesetas (IVA incluido)

Distribución para España:
Distribuciones de Enlace, S. A.
Bruch, 49 - 08009 Barcelona

Distribución para los restantes países:
Editorial Labor, S. A.
Calabria, 235-239 - 08029 Barcelona

Publicidad:
Madrid:
Gustavo Martínez Ovin
Avda. de Moratalaz, 137 - 28030 Madrid
Teléfonos 430 84 81 - 437 12 91
Cataluña:
Paulino Muñoz Victoria
Comunicación Diaria, S.A.
Aribau, 195, 4.° E - 08021 Barcelona
Teléfono 200 17 58

Controlado por O.J.D.

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Fotografía de la portada de Quesada/Burke

Página	Fuente
11-16	Hank Iken, Walken Graphics
17	U.S. Navy
21	A. V. Mamaev y N. A. Melnikov
22	Ian Worpole
23	A. V. Mamaev (*arriba izquierda*), Ian Worpole (*arriba derecha y abajo*)
24-26	Ian Worpole
28-29	Theo Weber, Instituto Max Planck de Fisiología de la Conducta, Seewiesen, República Federal de Alemania
30-36	Patricia J. Wynne
38-39	Ricardo Génova
41	Juan Rius-Camps
44	Ilil Arbel
45	George Janossy, Royal Free Hospital, Hampstead, Inglaterra
46	Jeffrey Laurence y Powers Peterson, Facultad de Medicina de Cornell (*arriba*); Ira Schierem, Facultad de Medicina de Cornell (*abajo*)
47-52	Ilil Arbel
53	Luc Montagnier, Instituto Pasteur, París
54	Ilil Arbel
57-58	Roser Gonzàlez-Duarte, Elvira Juan, Lluïsa Vilageliu, Sílvia Atrian y Ricardo Génova
71	Gabor Kiss
72-73	Edward Bell
74	Gabor Kiss
75	Edward Bell
76-78	Gabor Kiss
80-81	Edward Bell
85-86	Vaclav Smil, Manitoba
88-92	Joan Starwood
95	Lothar Haselberger (*arriba*), Raymond V. Schoder, S. J. (*abajo*)
96	Alan D. Iselin
97	George Niemann (*arriba*), Alan D. Iselin (*abajo*)
98	Alan D. Iselin (*izquierda*), Hans Georg Bankel (*derecha*)
99	Alan D. Iselin
100	Lothar Haselberger
101-102	Alan D. Iselin
105-107	Andrew Christie
110	Quesada/Burke
111-115	Michael Goodman

Los autores

HERBERT LIN ("Soporte lógico para la defensa antimisil") desarrolla estudios de ampliación postdoctoral en el Centro de Estudios Internacionales del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Se licenció y se doctoró en física por el MIT en 1973 y 1979, respectivamente. Aquí enseñó antes de pasar a la Universidad de Washington y, luego, a la de Cornell. En 1984 regresó al MIT.

VLADIMIR V. SHKUNOV y BORIS YA. ZEL'DOVICH ("Conjugación de fase óptica") trabajan en el Instituto de Problemas de Mecánica de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética. Shkunov se educó en el Instituto Físico-Técnico de Moscú. Zel'dovich, que se licenció por la Universidad estatal de Moscú en 1966, prosiguió su formación académica en el Instituto de Física Teórica y Experimental de Moscú. Pasó en el Instituto P. N. Levedev de Física de Moscú, donde se doctoró en ciencias en 1980. Zel'dovich y un grupo de colegas fueron distinguidos con el Premio Estatal de la Unión Soviética por su investigación sobre la conjugación de fase óptica.

FRANZ HUBER y JOHN THORSON ("Comunicación por vía acústica en el grillo") son, respectivamente, director de departamento y asesor del Instituto Max Planck de Fisiología del Comportamiento de Seewiesen, Alemania Occidental. Huber se licenció por la Universidad de Munich, donde también se doctoró, en 1953, con una tesis sobre el sistema nervioso del grillo. De 1954 a 1960 fue profesor auxiliar de fisiología animal de la Universidad de Tübingen. La de Colonia le nombró en 1963 profesor de zoología y fisiología animal. Thorson se licenció en física (1958) por el Instituto Politécnico Rensselaer. Contratado por la General Electric Company, trabajó en el dominio de la biofísica. Su experiencia en ese centro le animó a ampliar estudios de biología en Los Angeles, doctorándse en zoología en 1965. De 1967 a 1969, ejerció de profesor auxiliar e investigador en la Universidad de California en San Diego. Ha colaborado en investigaciones sobre visión humana y de insectos, contracción muscular, transformación sensorial y comportamiento de insectos.

JEFFREY LAURENCE ("SIDA y sistema inmunitario") enseña medicina en el Hospital Clínico de la Universidad de Cornell y trabaja en el Hospital de Nueva York. Tras cursar el primer ciclo de carrera en la Universidad de Columbia se licenció en medicina por la Facultad Pritzker de la Universidad de Chicago. Siendo estudiante disfrutó de una beca Rhodes y otra de la Fundación Henry Luce. Dedicó un año entero a la investigación sobre las defensas inmunitarias contra el crecimiento tumoral en el Instituto Oncológico de la Universidad de Osaka. De regreso a los Estados Unidos completó su formación médica en el Hospital de Nueva York y se entregó a la investigación en la Universidad Rockefeller. Se incorporó al claustro docente de Cornell en 1982.

R. GONZALEZ-DUARTE, E. JUAN, LL. VILAGELIU y S. ATRIAN ("El sistema alcoholdeshidrogenasa"), profesoras del departamento de genética de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona, han trabajado conjuntamente durante varios años en diversos aspectos relacionados con la alcoholdeshidrogenasa (ADH) de *Drosophila*. Gonzàlez-Duarte se doctoró en ciencias biológicas por la Universidad de Barcelona en 1972. Disfrutó de una beca del Consejo Británico para realizar una estancia de dos años en el departamento de biología molecular de la Universidad de Edimburgo, donde abordó algunos aspectos de la ADH en *D. melanogaster*. En el año 1974 inició en el departamento de genética de Barcelona una línea de investigación sobre esta enzima en diversas especies del género. Juan, doctorada en ciencias biológicas por la Universidad de Barcelona en el año 1980, purificó y caracterizó la enzima ADH en las especies *D. simulans, D. virilis* y *D. lebanonensis*. Con una beca estuvo en la Universidad de Edimburgo realizando estudios estructurales de la citada enzima. Vilageliu se doctoró en ciencias biológicas en 1981 por la Universidad de Barcelona. Sus trabajos sirvieron para profundizar en el estudio bioquímico de la ADH de *D. funebris* y *D. immigrans* y desentrañar su función en el metabolismo de los alcoholes. Atrian obtuvo una beca del Ministerio español de Educación y Ciencia para investigar la estructura de la ADH en *D. hydei*. Se doctoró en ciencias biológicas por la Universidad de Barcelona hace un par de años 1984.

DANIEL GORENSTEIN ("El teorema enorme") ocupa la cátedra Jacqueline B. Lewis de Matemáticas de la Universidad de Rutgers. Se educó en la Universidad de Harvard, por la que se licenció en 1943 y se doctoró en 1950. Comenzó su carrera como profesor auxiliar en la Universidad Clark, en la que llegó a profesor titular en 1959. En 1964 se trasladó a la Universidad del Nordeste. Tras pasar un año en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, ingresó en Rutgers en 1969. En 1972 fue nombrado miembro de número de la Fundación Guggenheim y académico Fulbright; en 1978 prestó servicios como Profesor Distinguido en la Cátedra Sherman Fairchild del Instituto de Tecnología de California. Dedicado al estudio de los grupos finitos desde 1960, ha desempeñado un papel clave en el desarrollo del teorema de clasificación de todos los grupos finitos simples. En la actualidad, Gorenstein elabora una demostración más concisa de "segunda generación".

VACLAV SMIL ("La alimentación en China") enseña geografía en la Universidad de Manitoba en Winnipeg. Tras su licenciatura por la Universidad Carolina de Praga, trabajó en una oficina de planificación regional, como asesor en temas energéticos y del medio ambiente. A raíz de la invasión soviética de Checoslovaquia, en 1968, se trasladó a los Estados Unidos. En 1972 se recibió de doctor por la Universidad estatal de Pennsylvania y, posteriormente, se incorporó al claustro de profesores de la Universidad de Manitoba. Desde sus tiempos de estudiante en Praga, Smil ha centrado su interés en las interrelaciones entre producción alimentaria, energía y transformación del medio ambiente.

LOTHAR HASELBERGER ("Planos para la construcción del templo de Apolo en Dídyma") es un arqueólogo especializado en arquitectura helenística. Estudió arquitectura, urbanismo e historia de la arquitectura en la Universidad Técnica de Munich y en la de Harvard. Bajo el patrocinio de la Universidad Técnica de Munich pasó dos años investigando una clase poco usual de torres antiguas que se encuentran en las islas de Grecia; recientemente ha obtenido el grado de doctor por aquel trabajo. Desde 1980, con la ayuda del Instituto Arqueológico Germánico y Consejo de Investigaciones Científicas alemán, Haselberger ha estado transcribiendo y catalogando los planos de construcción descubiertos por él en Dídyma.

Soporte lógico para la defensa antimisil

El proyecto de defensa denominado "guerra de las galaxias" se apoyaría en el control que ejercieran los ordenadores sobre una compleja red de armamentos. Quizá resulte imposible el desarrollo de programas fiables para tal sistema

Herbert Lin

"El objetivo final de la Iniciativa de Defensa Estratégica (IDE) es eliminar la amenaza planteada por los misiles balísticos nucleares" se afirma en la carta provisional del Organismo para la Iniciativa de Defensa Estratégica. Para alcanzar ese objetivo de defensa total, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos ha autorizado a esa instancia la gestión de programas de investigación que examinen la viabilidad del desarrollo tecnológico necesario para una defensa contra misiles balísticos (BMD) destinada a proteger ciudades y asentamientos militares. Tal sistema defensivo destruiría o incapacitaría los vehículos de transporte de las ojivas nucleares, en el camino hacia sus objetivos, valiéndose de una amplia gama de armas defensivas: láseres, haces de partículas, guías electromagnéticas o vehículos no explosivos de impacto directo.

El Organismo para la Iniciativa de Defensa Estratégica reconoce que la importancia de la tecnología informática que controlaría cada una de las armas, y que coordinaría su funcionamiento, es comparable con la del desarrollo de las nuevas tecnologías de interceptación. El sistema de mando y control de la defensa total contra misiles balísticos debe ser capaz de recibir y actuar sin problemas con la información procedente de miles de rampas de lanzamiento, decenas de miles de cabezas nucleares y cientos de miles de señuelos. Debe hacerlo en la media hora que emplearía un misil balístico intercontinental (ICBM) para viajar desde su rampa de lanzamiento, en la Unión Soviética, hasta su objetivo en los Estados Unidos. Dado que en su mayor parte el sistema ha de estar automatizado, no habría tiempo para que la intervención humana corrigiera fallos inesperados. Una vez puesto en servicio un sistema BMD, las decisiones humanas se substituirían por la ejecución de un programa de ordenador.

Antes de que los Estados Unidos emprendan un serio esfuerzo en el desarrollo del soporte lógico de un sistema de tales características convendría plantearse tres cuestiones: ¿Cuál es la naturaleza de un sistema BMD? ¿Cuáles son los obstáculos que se opondrían al desarrollo de la programación del BMD? ¿Pueden salvarse esos obstáculos?

El sistema de defensa total que los funcionarios del Organismo para la Iniciativa de Defensa Estratégica (y sus críticos) han examinado más asiduamente consta de cuatro escalones, es decir, la defensa contra los misiles balísticos atacaría a los misiles hostiles en cada una de las cuatro fases de su vuelo, que son: la de lanzamiento, en la que un vehículo de varias fases sitúa la carga por encima de la atmósfera; la de postlanzamiento, durante la cual un vehículo maniobrable, el "autobús", libera sencuencialmente por encima de la atmósfera terrestre vehículos de reentrada con ojivas nucleares y "ayudas a la penetración", como señuelos o trampas; la etapa intermedia, en la que los vehículos de reentrada y los señuelos recorren la mayor parte de su trayectoria, y la etapa terminal, en la que las cabezas nucleares a bordo de sus vehículos de transporte penetran en la atmósfera y detonan sobre sus objetivos.

En un sistema defensivo contra misiles balísticos desplegado en cuatro escalones, los interceptores disfrutan de varias oportunidades para destruir las armas ofensivas. En cada escalón, el sistema debe detectar y rastrear con éxito sus objetivos para llegar a destruirlos [véase "Defensa espacial y misiles balísticos", por Hans A. Bethe, Richard L. Garwin, Kurt Gottfried y Henry W. Kendall; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 1984]. Para coordinar la defensa y evaluar su eficacia se necesitan ordenadores y programas apropiados. Este proceso de coordinación se denomina dirección del combate. Aunque los expertos no se han decidido aún sobre cómo debería organizarse, una hipotética estructura comprendería ordenadores "locales" y programas responsables de la dirección del combate en cada escalón defensivo. Los sistemas de cada escalón estarían interconectados entre sí mediante un sistema global de dirección del combate.

Los programas que cumplieran la función de dirección dentro de cada escalón defensivo controlarían los sensores y las armas asignados al mismo. Tales sensores localizarían y rastrearían los objetivos potenciales y separarían los objetivos reales de los señuelos. Los programas crearían un "fichero de seguimiento" que contendría toda la información conocida acerca de cada objetivo. Asimismo, asignarían recursos defensivos en cada escalón específico, coordinando la información del fichero de seguimiento con el armamento disponible y con las reglas de acción, previamente programadas, que determinarían bajo qué circunstancias debería atacarse cada uno de los objetivos. El sistema global director del combate tendría en cuenta la envergadura y la naturaleza del ataque en curso y asignaría reglas de acción a cada escalón. Para preparar un sistema local de dirección del combate que se enfrentara a las cabezas nucleares que hubieran escapado de escalones precedentes, el sistema global debería trans-

mitir la información del fichero de seguimiento y de los sensores, obtenida en la fase de seguimiento, al escalón defensivo subsiguiente.

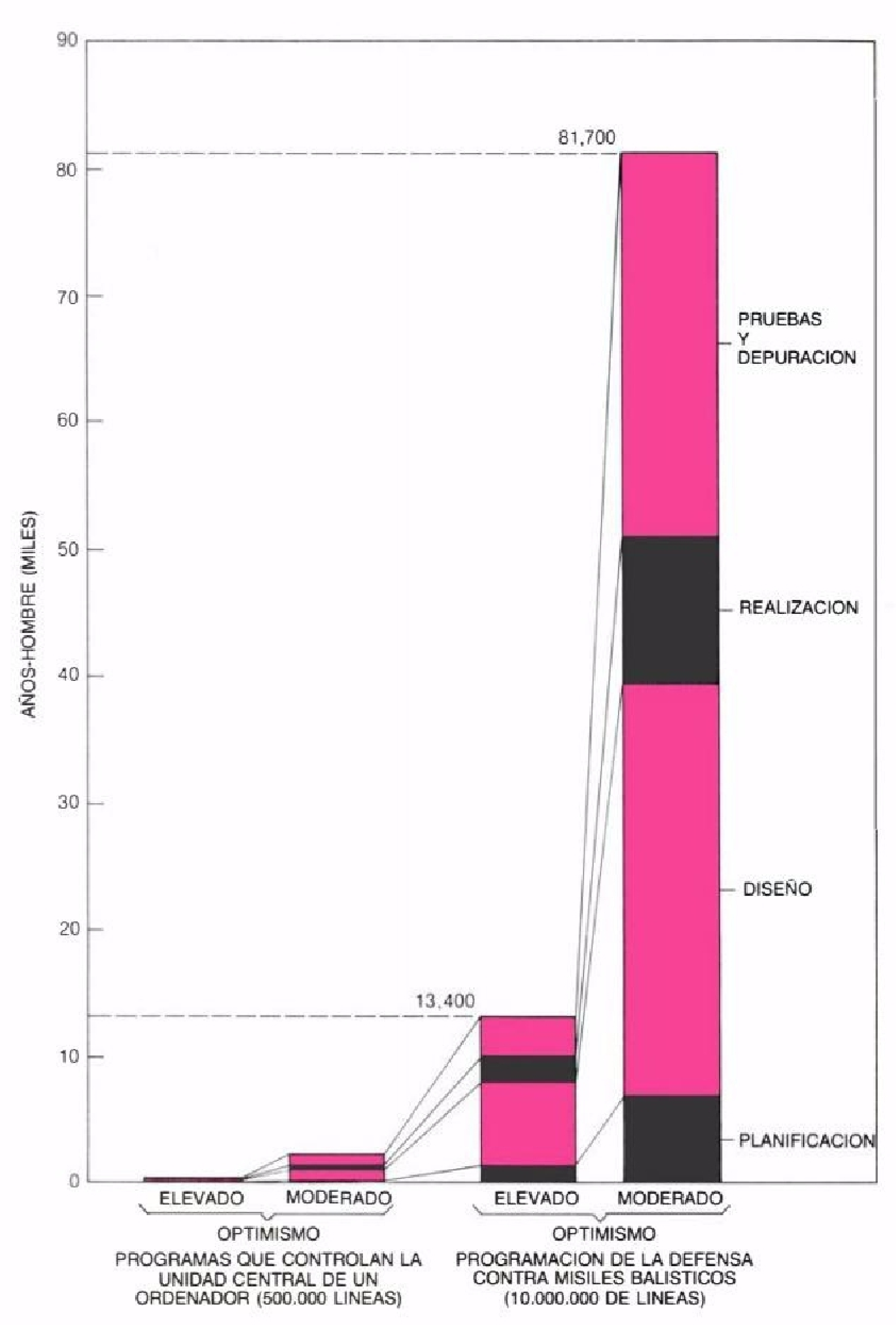
La defensa contra misiles balísticos dependería estrechamente de los programas que la controlan; cualquier programación defectuosa se traduciría en fracaso. Por tanto, el desarrollo del sistema de programación resulta un factor decisivo en el logro de los objetivos para los cuales se ha diseñado el sistema.

El desarrollo de un sistema de programación es un proceso teórico que se divide en diversas etapas conceptuales; a saber: planificación, diseño, realización, ensayo y depuración. Durante la realización de un proyecto real de programación de un sistema, las distintas etapas no se suceden secuencialmente; por ejemplo, iniciado ya un proyecto, puede que cambien los planes y deban los programadores rediseñar parte del mismo.

La primera etapa importante en el desarrollo del soporte lógico es su planificación, donde se determina qué funciones han de realizarse y se acotan las diferentes situaciones a las que deben responder los programas del sistema. A medida que una tarea crece en complejidad, resulta más difícil especificar qué acción debe tomarse y cuándo. Un ejemplo simple nos ilustra este punto. Si se ha de contar el número de personas que hay en un pequeño auditorio, resulta intuitivamente obvio cómo ha de procederse, pero, si se trata de contar la multitud que llena un estadio, el método a utilizar requiere una mayor elaboración. Por ejemplo, ¿cómo se definen los límites del estadio? ¿Cómo se define una persona? (¿Debe contabilizarse el feto de una mujer embarazada?) Así, factores que raramente aparecen y que por consiguiente son irrelevantes en el primer caso pueden complicar el plan de un trabajo si crece su tamaño.

La especificación precisa de lo que debe hacer una defensa contra misiles balísticos es una tarea compleja. Por ejemplo, la instrucción "destrúyase todo misil soviético" bastaría si únicamente existieran misiles soviéticos y todos ellos tuvieran que destruirse bajo cualquier circunstancia. Pero el mundo no es tan sencillo. ¿Cómo pueden distinguirse los misiles soviéticos de los que no lo son? ¿Qué ocurre si un misil soviético se dirige hacia un objetivo de la República Democrática Alemana? Aunque las preguntas anteriores afectan sólo a un aspecto superficial del plan detallado de trabajo, exponen por primera vez un problema fundamental con el que se enfrentarán reiteradamente los técnicos: la dificultad de decidir si un aspecto particular de un programa es o no conveniente.

Además, ha de predecirse toda posible contingencia de forma exacta, y decidir cómo deben responder en cada caso los programas. Por ejemplo, qué pasos deben ejecutar los programas si los ordenadores de un escalón dado del sistema de dirección del combate fallan. ¿Cómo podría una defensa contra misiles balísticos distinguir el lanzamiento de una lanzadera espacial soviética del disparo de un ICBM? Dado el

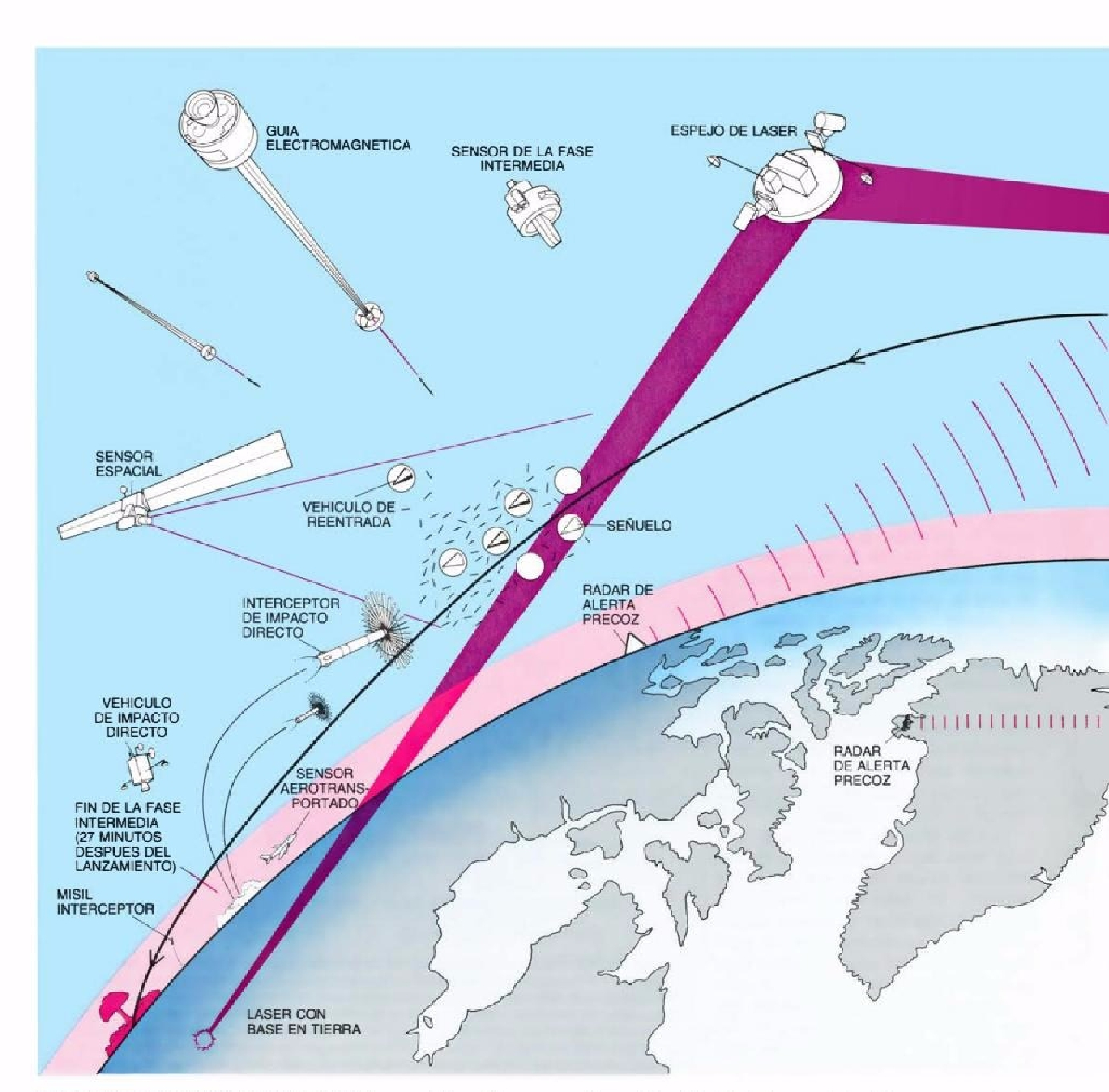


1. NIVEL DE ESFUERZO que requiere cada una de las cuatro etapas de desarrollo del sistema de programación para la defensa contra misiles balísticos (que según un estudio del Gobierno americano ocuparía 10 millones de líneas de instrucciones de programación); se muestra frente al trabajo necesario para producir los programas que controlan la unidad central de un ordenador (500.000 líneas). Las etapas no se suceden estrictamente de una forma secuencial, pues se producen solapamientos. Cuando nos referimos a la etapa final entedemos las pruebas y la eliminación de los errores previos a la entrega del producto; ya en uso el sistema se requerirían más pruebas con sus correspondientes eliminaciones de errores. En cada proyecto de desarrollo de programas, la columna de la izquierda representa estimaciones muy optimistas; la de la derecha representa puntos de vista menos optimistas. La función de escala que relaciona el nivel de esfuerzo con el tamaño del programa se ha tomado de *Software Engineering Economics*, de Barry W. Boehm.

número casi infinito de posibilidades, los responsables de la programación del sistema estarán sometidos a gran presión para que prevean todas las circunstancias posibles. La simple relación de todas las situaciones a las que podría enfrentarse un sistema BMD y de las acciones apropiadas que tuviera que tomar en cada caso ocuparían decenas de miles de páginas. A modo de comparación, el Reglamento de Impuestos de los Estados Unidos, que es la plasmación legislativa de la Ley Federal de Impuestos, ocupa alrededor de unas 3000 páginas. Así, la posibilidad de que en el plan detallado de los programas del BMD se consideren adecuadamente todas las situaciones potenciales es, como mínimo, tan improbable como la posibilidad de que no exista rendija legal alguna en las leyes de impuestos federales.

Para ilustrar este punto citaremos dos ejemplos. El 3 de junio de 1980 el Comando Norteamericano de Defensa Aeroespacial (NORAD) informó que los Estados Unidos eran atacados con misiles. El informe se atribuyó a un circuito defectuoso de un ordenador que generó señales incorrectas. Si al desarrollar los programas responsables de procesar estas señales se hubiera tenido en cuenta la posibilidad de un fallo en los circuitos, la falsa alerta se habría evitado.

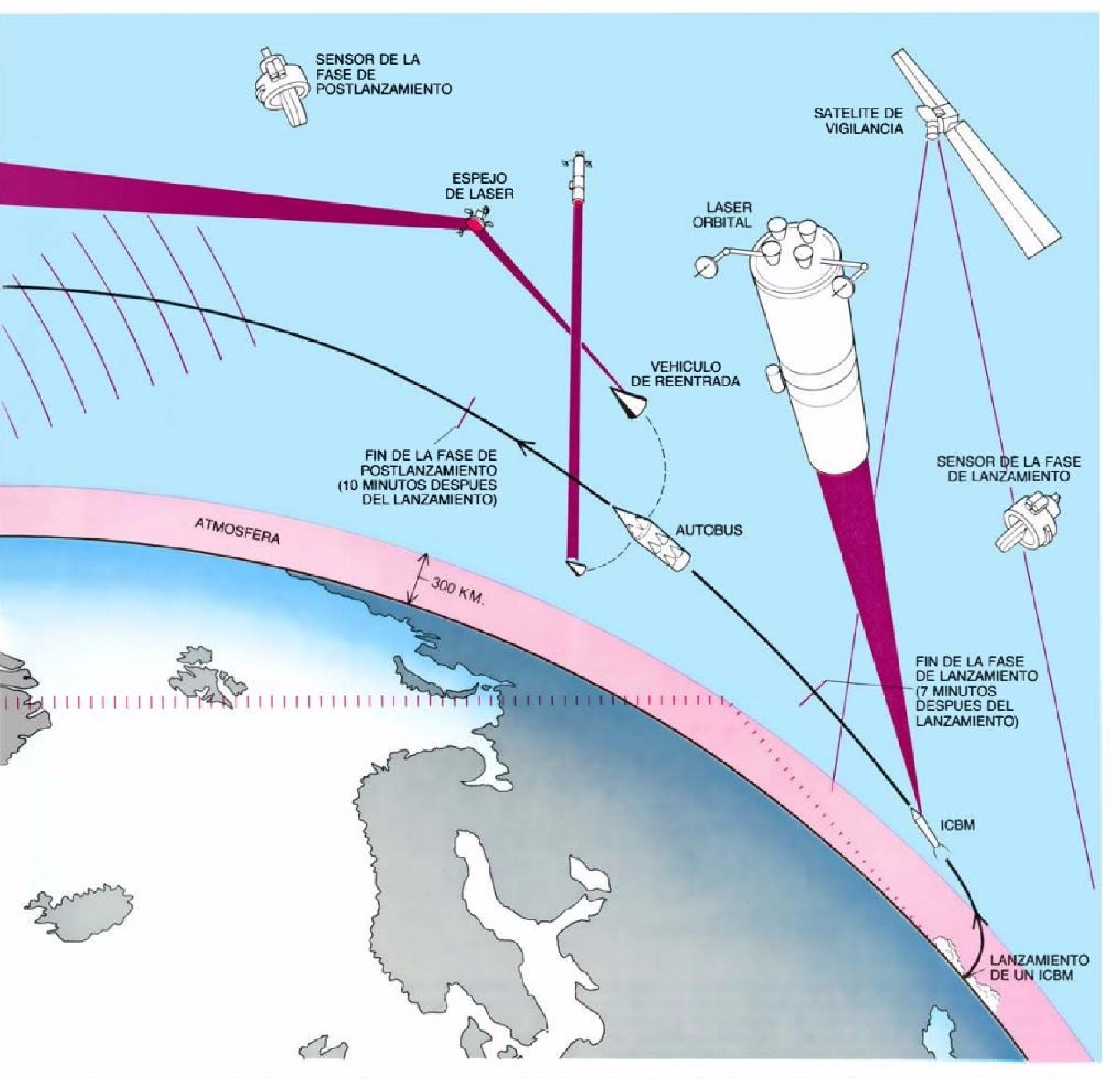
El segundo ejemplo, relacionado con



2. ENTRE LOS SOPORTES FISICOS PROPUESTOS para un sistema defensivo contra misiles balísticos se cuentan una gran variedad de armas interceptoras: láseres de gran potencia (con base terrestre o espacial), guías electromagnéticas y misiles. Además habría que contar también con sensores a bordo de satélites, aerotransportados y con base en tierra. Se atacaría a los misiles balísticos enemigos en cada una de las fases de su trayectoria: la fase de lanza-

el hundimiento del destructor británico H.M.S. *Sheffield*, salió a la luz pública tras los análisis que siguieron a la guerra de las Malvinas. De acuerdo con ellos, los sistemas de alerta del radar del buque se habían programado para que identificaran el misil Exocet como "misil amigo", puesto que el arsenal británico está dotado de ese tipo de armas. En consecuencia, el sistema ignoró las transmisiones del dispositivo de autoguía del Exocet hostil y permitió que éste alcanzara su objetivo, es decir, el *Sheffield*.

En la fase de diseño también son múltiples los posibles problemas. En ella debe resolverse la plasmación, en el ordenador, de los proyectos elaborados en la etapa de planificación; se desarrollan los algoritmos que han de conformar los programas, la secuencia con que han de discurrir ciertas acciones, etcétera. En su estructura teórica esta fase se asemeja a la que se enfrenta un arquitecto cuando, una vez determinadas las necesidades de una casa, ha de dibujar sus planos. Si el arquitecto se equivoca al evaluar la capacidad de drenaje del terreno, los cimientos quizá se inunden, provocando daños cuya reparación puede resultar muy costosa. De forma similar, también es caro corregir los errores de diseño de los programas si no se detectan en esta fase.

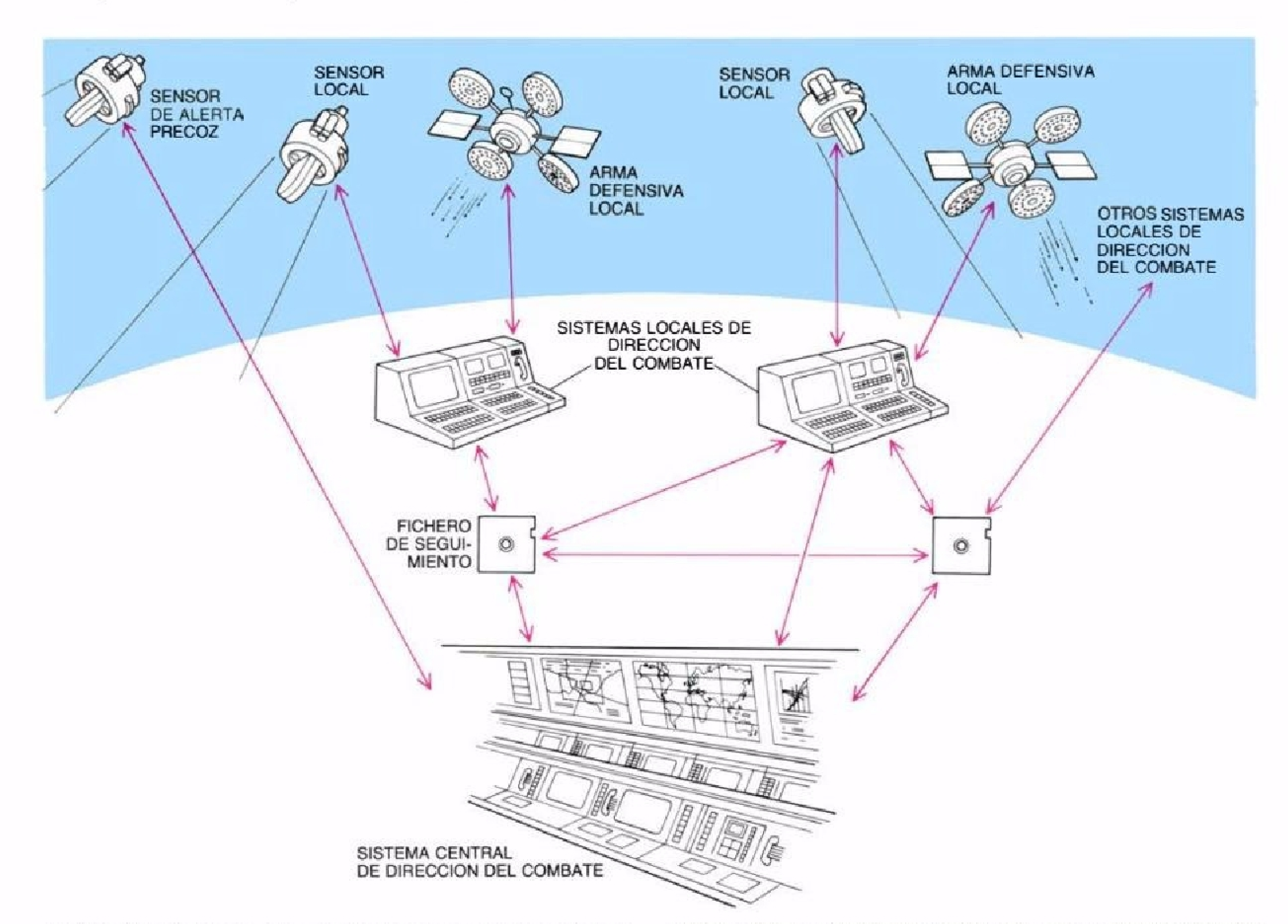


miento, durante la que el misil abandona la atmósfera en vuelo propulsado; la de postlanzamiento, en la que se van soltando los vehículos de reentrada, los señuelos y las piezas metálicas reflectoras del radar (*chaff*); la fase intermedia, durante la cual los diversos objetos viajan la mayor parte de su trayectoria en el espacio, y la fase terminal, en la que los vehículos de reentrada penetran en la atmósfera para detonar sobre los objetivos que se les haya asignado.

Ni siquiera importantes sistemas de programación se han visto exentos de tales errores de diseño. La cápsula espacial tripulada *Gemini V* erró su punto de amerizaje en 100 millas porque su programa de guía ignoró el movimiento de la Tierra respecto del Sol. En otro caso, se cerraron cinco reactores nucleares temporalmente porque un programa que evaluaba su resistencia a los terremotos aplicaba una suma aritmética de variables en lugar de la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de las variables. No pueden, por tanto, predecirse ni la naturaleza ni la frecuencia de los errores de planificación y diseño; en realidad, esos errores sólo pueden eliminarse si los analistas los detectan con anticipación, tarea que resulta más ardua a medida que el tamaño o la complejidad del sistema aumentan. En consecuencia, detectar y corregir errores constituye uno de los aspectos fundamentales de todo proyecto de desarrollo de sistemas de programación. ¿Cómo detectarlos y cómo valorar la seguridad del funcionamiento de un sistema?

Dos técnicas han demostrado su eficacia en la valoración de la exactitud de un sistema de programación. Una de ellas es analítica y consiste en probar la corrección de los programas certificando matemáticamente que sus resultados se ajustan a ciertos criterios, especificados formalmente, al recibir datos de entrada conocidos. Con todo, aunque las pruebas de la correción de los programas ayudan a asegurar que el sistema de programación desarrolla sus especificaciones teóricas, no aseguran que éste cumpla su misión. Las pruebas completas son, como mínimo, comparables en tamaño con los programas que supuestamente verifican; los analistas se enfrentan entonces al problema de comprender una prueba tan complicada como el propio programa. Por otra parte, el programa de prueba no garantiza el tiempo que emplearía un sistema en realizar "cálculos a tiempo real" (factor crítico que se discutirá más adelante) ni revela la naturaleza de la respuesta del sistema al recibir datos imprevistos. Finalmente, las pruebas de corrección no aseguran que las propias especificaciones reales del programa sean correctas.

Una técnica más importante de valoración consiste en la prueba empírica. Obviamente, la defensa contra misiles balísticos no puede someterse a prueba empírica a gran escala en condiciones reales, ya que el coste de tal ensayo sería exorbitante. Más importante aún, la Unión Soviética no podría distinguir con seguridad entre el lanzamiento de gran número de misiles de



3. ENLACE entre sensores, armas y ordenadores; es decisivo en el sistema de dirección del combate de la defensa contra misiles balísticos (BMD). Los sensores y las armas constituyen un escalón de defensa que debería estar bajo el control de un computador local de dirección del combate. Tal sistema localizaría y seguiría el rastro de los objetivos potenciales, identificaría los blancos reales entre los señuelos y la chatarrería, asignaría sus armas a blancos específicos en tiempos específicos y se aseguraría de que el blanco se hubiera destruido. Toda la información sobre los objetivos se transmitiría a un "fichero de seguimiento" y al sistema contiguo de dirección del combate, así como a la dirección central de control del combate, que estaría en comunicación constante con las direcciones locales. Para cada una de ellas se especificaría bajo qué circunstancias precisas se ha de atacar un blanco determinado, se transmitiría la información del fichero de seguimiento y se coordinarían las acciones necesarias para proteger el propio sistema BMD. Además, el ordenador central de dirección del combate recibiría la alerta precoz concerniente al inicio del ataque. La red que se muestra podría romperse mediante un ataque al sistema central de dirección del combate.

ensayo y un ataque nuclear real por parte de los Estados Unidos. Por tanto, deben utilizarse formas más limitadas de evaluación empírica: pruebas a escala reducida, durante las cuales un sistema BMD actuase sólo contra unos pocos misiles, y pruebas de simulación, en las que un ordenador presentara amenazas a gran escala contra los objetivos que debe proteger un sistema BMD. Algunos expertos mantienen que tales pruebas hacen innecesarios los ejercicios reales a gran escala. Sin embargo, aunque tales ensayos incrementan la seguridad de un sistema, no aseguran el cumplimiento de los objetivos de la defensa total contra misiles balísticos.

Los problemas que surgen al integrar dos componentes individuales distintos en un sistema eficaz suelen aparecer sólo cuando se ensaya el sistema completo en situaciones límite; no se dan esas situaciones en ensayos a pequeña escala. El sistema WWMCCS (World Wide Military Command and Control System), red de comunicaciones utilizada por las autoridades civiles y militares para coordinar y transmitir información hacia y desde las fuerzas militares norteamericanas en campaña, constituye un buen ejemplo de lo mencionado anteriormente. En su utilización rutinaria, cuando la transmisión de mensajes es baja, el sistema WWMCCS funciona satisfactoriamente. Sin embargo, cuando el tráfico de mensajes es alto, la respuesta del sistema varía. Durante un ejercicio realizado en 1977, el WWMCCS se conectó a los sistemas de mando y control de varios centros regionales, actuando con una efectividad en la transmisión de mensajes de sólo el 38 por ciento.

Para superar las limitaciones de las pruebas de pequeña escala, a menudo se cuenta con simuladores que crean situaciones de ataque probables. Aunque la información obtenida de la simulación supera la conseguida mediante pruebas a pequeña escala, esta técnica, aplicada al ensayo de un sistema contra misiles balísticos, se ve limitada por varias razones. Primero, los simuladores no son capaces de reproducir las "signaturas", o parámetros de los fenómenos físicos asociados a diversos fenómenos, verbigracia, explosiones nucleares simultáneas, de una forma rápida y suficientemente exacta para poner a prueba la capacidad de respuesta del sistema defensivo. Por tanto, los analistas deben "confiar" en las signaturas de cada uno de los fenómenos que eligen para simular; es decir, los fenómenos se "preprocesan" antes de introducirlos en el sistema de defensa. Al emplear información preprocesada, no caben sorpresas durante la simulación que, por otra parte, debe probar cómo reacciona el sistema a circunstancias no previstas, disminuyendo, por tanto, el realismo de la prueba.

Aunque los avances en la tecnología de los computadores han incrementado enormemente su velocidad de cálculo, y por consiguiente es más fácil diseñar simuladores que modelen situaciones más realistas, el incremento de la velocidad de cálculo no ayudará a simular datos de fenómenos físicos de los que se dispone un conocimiento teórico y empírico inadecuado. Por ejemplo, atendiendo a los conocimientos actuales, los científicos no podrían modelar exactamente la explosión simultánea de varias ojivas nucleares en zonas cercanas bajo ciertas condiciones. Y más importante aún, los simuladores no pueden reproducir satisfactoriamente todos los ataques plausibles, ya que un enemigo inteligente elige sólo a última hora los parámetros de un ataque real. Por tanto, la confianza en un sistema BMD obtenida a partir de pruebas simuladas se apoya en la hipótesis de que los responsables de la simulación pueden predecir y reproducir electrónicamente la amplia gama de tácticas a las que podría recurrir el enemigo.

El desarrollo del sistema de defensa aérea Aegis ilustra las limitaciones de los ensayos basados en la simulación. El sistema de dirección de combate del Aegis se diseñó para rastrear cientos de objetos volantes en un radio de 300 kilómetros, asignando armas suficientes para destruir del orden de 20 de los objetivos situados dentro del alcance de sus misiles defensivos [véase "Armas inteligentes en la guerra naval", por Paul F. Walker; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 1983]. Se instaló el sistema en el crucero U.S.S. *Ticonderoga*. Una vez puesto en servicio el buque, el sistema se sometió a su primer ensayo real, durante el cual, por un error de programación que pruebas y simulaciones previas a pequeña escala no habían descubierto, fracasó en su intento de derribar 6 de 16 blancos. Dado lo limitado de aquellas pruebas, el sistema no se había enfrentado a más de tres blancos simultáneamente. En un ataque de proporciones próximas a los límites de diseño del sistema Aegis, posiblemente los resultados hubieran sido peores.

Son habituales los fallos durante las pruebas en condiciones reales; de hecho, durante el primer ensayo de un nuevo sistema es inevitable su funcionamiento defectuoso. En pruebas posteriores del Aegis, el sistema, ya reformado, no volvió a cometer los errores anteriores. Probablemente en futuras maniobras se descubran nuevos defectos, que a su vez se someterán a corrección, produciéndose en este proceso una mejora gradual del funcionamiento del sistema.

En contraste con el ejemplo anterior, la respuesta de una defensa total contra misiles balísticos no mejorará con la experiencia, ya que la prueba empírica a gran escala del sistema BMD consistiría en un ataque real a gran escala contra los Estados Unidos. Un sistema de dirección del combate más complejo que el Aegis, que ha de seguir más objetivos y que ha de operar en un tiempo mucho más reducido, es improbable que funcione mejor que el Aegis. Además, un error en plena batalla daría escasa opción, si alguna, a los responsables del sistema para tomar nota y aprender de la experiencia.

Con todo, los responsables del sistema de defensa contra misiles balísticos intentarán mejorar el funcionamiento del sistema, detectando y eliminando fallos, modificando sus características en respuesta a nuevas necesidades y añadiendo nuevos soportes físicos y programas al proyecto. Tales esfuerzos, junto con la dedicación de más personal al proyecto, constituyen lo que los especialistas denominan el mantenimiento del sistema de programación, que supone aproximadamente el 70 por ciento de los costes del ciclo de vida del desarrollo de un proyecto.

Todo sistema de defensa contra misiles balísticos presenta dos problemas de mantenimiento singulares. El primero y más importante es la eliminación de los fallos graves descubiertos después de que los programas estén ya en funcionamiento. El abanico de esos fallos puede extenderse desde un símbolo codificado incorrectamente hasta un defecto fundamental de diseño. El 19 de junio de 1985, el Organismo para la Iniciativa de Defensa Estratégica acometió un experimento sencillo: la tripulación de la lanzadera espacial debía situar su nave de forma que un espejo montado en uno de los lados de la nave reflejara un rayo láser emitido desde la cima de una montaña situada a 10.023 pies sobre el nivel del mar. El experimento falló porque el programa de ordenador que controlaba los mo-

vimientos del vehículo interpretó que la información sobre la localización del láser la recibía en millas náuticas, no en pies, y preparó la lanzadera espacial para recibir un rayo emitido desde 10.023 millas náuticas sobre el nivel del mar, en una inexistente montaña. El pequeño error de procedimiento tuvo poca trascendencia para la prueba, pues un segundo intento realizado pocos días después terminó con éxito, pero muestra cómo hasta los más simples errores pueden dar al traste con una misión.

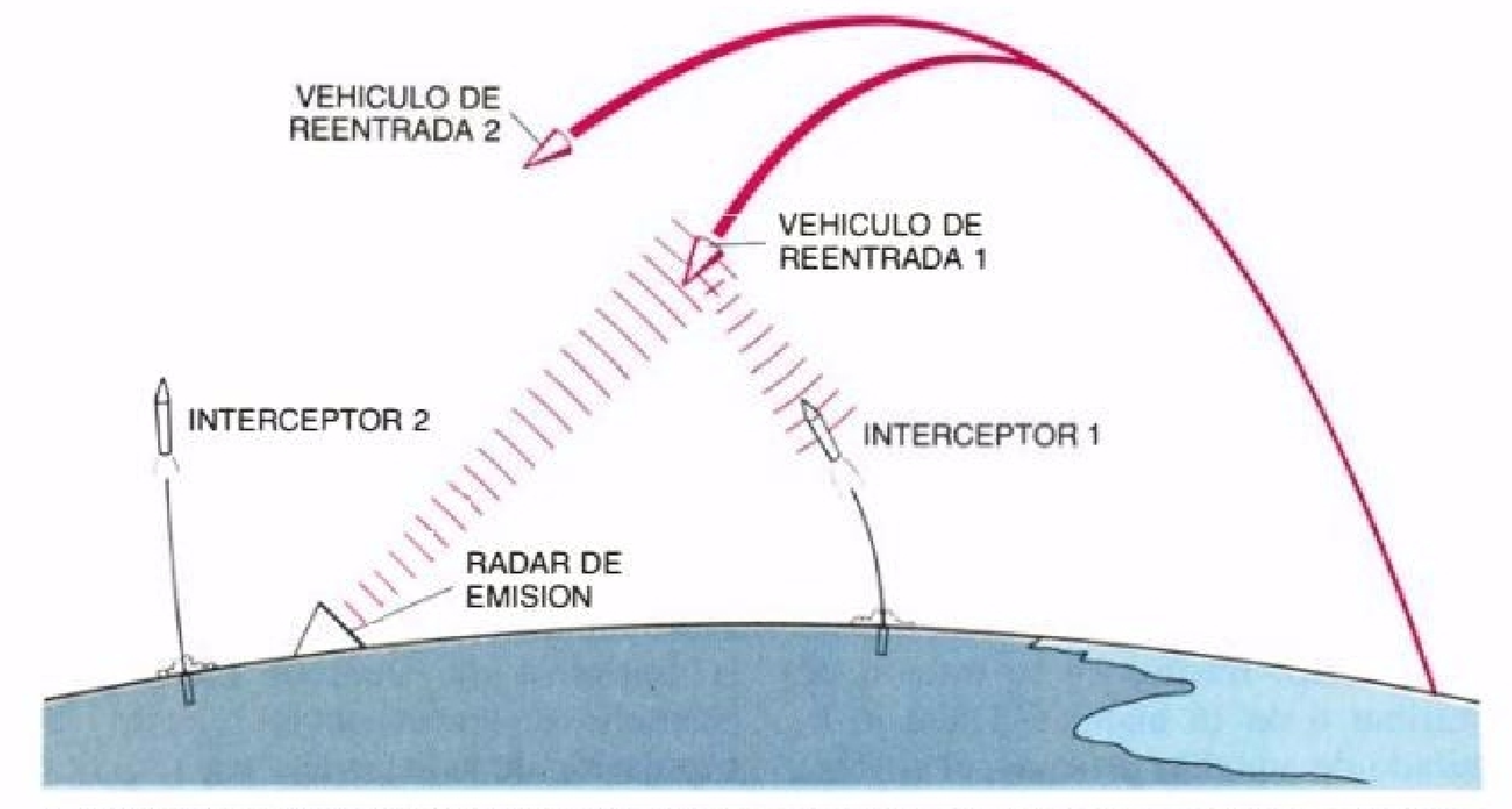
Aunque en el caso anterior pudo rectificarse el fallo fácilmente, depurar un sistema de defensa contra misiles balísticos requerirá un esfuerzo considerablemente mayor. En particular, durante un ataque, el sistema de programas de la dirección del combate debe recibir y procesar información de tal forma que actúe al mismo ritmo que se suceden las circunstancias externas al ordenador. Es decir, los programas deben trabajar a "tiempo real" [*véase la figura 4*]. Uno de los problemas a considerar cuando se trata de eliminar fallos en un paquete de programas a tiempo real es el de determinar por qué a veces unos programas que, con una configuración o equipamiento determinado funcionan bien, con otra configuración, ligeramente distinta de la anterior, no lo hacen. Por ejemplo, cierto misil que puede lanzar sin dificultad a velocidades supersónicas el avión F-4G Wild Weasel no funciona con el F/A-18 Hornet: un sistema de programación que funciona en el modelo F-4G no es enteramente compatible con la aviónica instalada en el modelo F/A-18.

Un segundo problema de especial significado en la eliminación de fallos en los programas a tiempo real es que a los analistas a menudo les resulta difícil producir recurrencias de errores, práctica esencial para localizarlos. La respuesta a tiempo real a menudo está determinada por factores como el tiempo de llegada de la información de los sensores, y esos factores determinantes del comportamiento de un programa no siempre pueden reproducirse con la suficiente exactitud para encontrar y eliminar el fallo. De hecho, para hallar un error hace falta conocer las circunstancias precisas que lo producen y, dado que ello no es siempre posible en grandes sistemas a tiempo real, los errores de programación se identifican en la práctica sólo en un sentido probabilístico. Los grandes programas de ordenador se desarrollan por medio de una serie de cambios conocidos sólo de forma incompleta. A partir de cierto punto, el programador no puede predecir con seguridad las respuestas del sistema y no le queda más remedio que confiar en que se alcance el resultado deseado.

Existe una complicación final en la eliminación de fallos de los programas a tiempo real: aun habiéndose localizado un error, puede que los intentos de eliminarlo no fructifiquen, pues la probabilidad de que al eliminar un error se introduzca otro (o más de uno) oscila entre el 15 y el 50 por ciento. Además, la mayoría de los errores de diseño que se revelan una vez puesto en servicio el sistema lo hacen tras un uso frecuente. La experiencia obtenida en el trabajo con grandes programas de control (que constan de entre 100.000 y dos millones de líneas de instrucción) sugiere que la probabilidad de introducir un error importante al corregir otros es tan grande que sólo debe enmendarse una pequeña fracción de los fallos originales.

En el contexto de la defensa total contra misiles balísticos debemos reflexionar acerca de las consecuencias de un fallo que se manifestara de una forma impredictible e infrecuente. Los detalles del primer intento de lanzamiento de la lanzadera espacial constituyen un buen ejemplo. La lanzadera, cuyos programas operativos a tiempo real ocupan unas 500.000 líneas de instrucciones, fracasó en su primer intento de despegue por un problema de sincronización entre los ordenadores de control de vuelo. El error de programación causante del fallo se introdujo al corregir otro error previo dos años antes, y se hubiera manifestado, por término medio, en una de cada 67 pruebas.

Además de detectar y eliminar errores, un segundo aspecto del mantenimiento de un sistema de programación constituye también un obstáculo al desarrollo del sistema defensivo. El Equipo de Estudio de Tecnologías Defensivas (DTST), organismo auspiciado por el Departamento de Defensa para examinar la fiabilidad de una defensa total contra misiles balísticos, sostiene que el sistema defensivo completo necesitará un mínimo de 10 millones de líneas de instrucciones de programación. Comparándolo con el sistema Aegis, éste resulta un orden de magnitud más pequeño. Si la estimación del DTST está infravalorada en un factor de dos, hasta el proyecto de desarrollo de programas más optimista comportaría más de 30.000 años-hombre de trabajo o, lo que es lo mismo, el trabajo de 3000 programadores y analistas como mínimo, durante diez años. Por esa razón, el proyecto ha de prever un movimiento de personal que reducirá la memoria institucional del mismo. Así, durante los cambios de personal podría omitirse algún detalle esencial, como el de actualizar algún subprograma. Un ejemplo trágico de ese tipo de errores de coordinación ocurrió en 1979, cuando un avión de Air New Zealand chocó contra una montaña de la An-



4. UN PROGRAMA A "TIEMPO REAL" ha de ejecutarse al ritmo que define una escala de tiempos externa al soporte físico del ordenador. Un computador que controle el radar que emite señales hacia un vehículo de reentrada, para que un misil interceptor capte la señal reflejada, tendría que mantener la señal de radar sobre el vehículo de reentrada hasta que éste hubiera sido destruido. Si el radar se desviara de su objetivo demasiado pronto, el interceptor podría "perder" su objetivo, en especial si éste estuviera preparado para evadir interceptores. Probablemente el ordenador habría de apuntar el radar hacia otros vehículos, para interceptarlos. El programa habría de desviar el radar hacia un segundo vehículo una vez destruido el primero, y ello con la rapidez necesaria para que el segundo interceptor alcance a derribar su objetivo.

tártida porque su tripulación no fue advertida de que los datos de entrada que señalaban el plan de vuelo del ordenador de navegación se habían cambiado.

Otra posibilidad es que agentes soviéticos trataran de sabotear el proyecto. Podrían introducir deliberadamente en el sistema defectos difíciles de detectar, que aparecieran sólo durante un ataque real pero no durante las pruebas. Tampoco se puede dejar de lado la posibilidad de que un programa pueda contener algún tipo de "bomba retardada" que produjera un fallo de los programas en un momento crítico. La precaución obvia contra tales acciones consistiría en imponer estrictas medidas de seguridad que, por añadidura, inhibirían la comunicación entre el personal asignado a diferentes partes del sistema, incrementándose, por tanto, la posibilidad de importantes errores de programación no intencionados.

Fortaleciendo la seguridad no se impide que la Unión Soviética obstaculice el sistema mediante otros medios. No existe razón para creer que los funcionarios soviéticos que se enfrentaran a un sistema BMD norteamericano renunciaran a disimular las características de sus misiles balísticos y de sus cabezas nucleares o señuelos durante las pruebas o durante su utilización real. Sin datos veraces sobre los misiles soviéticos, no cabría seguridad alguna acerca del funcionamiento del sistema de defensa americano. Es más, los rusos podrían desarrollar tácticas nuevas o armas que forzaran a los analistas norteamericanos a reprogramar el sistema de dirección del combate para afrontar nuevas amenazas. La acumulación de varios cambios a lo largo del tiempo probablemente conduciría a muchas interacciones imposibles de predecir y, en consecuencia, a la necesidad de un nuevo diseño del sistema.



5. MISIL SM-2 que forma parte del sistema de defensa aérea Aegis de la Armada de los Estados Unidos. El sistema de dirección de combate del Aegis se diseñó para que siguiera cientos de objetivos aéreos y realizara hasta 20 intercepciones simultáneas. Debido a defectos de programación, durante su primer ensayo en condiciones reales falló en el derribo de 6 de 16 objetivos. Posteriormente se han reparado los errores del sistema. Una defensa total contra misiles balísticos, que constituye un sistema mucho más complicado y ambicioso, debería comportarse mucho mejor que el sistema Aegis, ya que su funcionamiento habría de ser correcto al primer intento; un fallo importante en la programación del sistema durante la primera prueba global posiblemente no daría oportunidad a nuevas rectificaciones. Dada la imposibilidad de efectuar ensayos a gran escala, el primer ensayo de un sistema BMD sería un ataque real a gran escala de misiles balísticos.

Se ha sugerido también que la elaboración de programas para sistemas extremadamente complejos podría aligerarse mediante el concurso de sistemas inteligentes y de programación automática. En este sentido, un informe de la Agencia para Proyectos de investigación Avanzados de la Defensa, DARPA, apuntaba la posibilidad de aplicar sistemas inteligentes a la defensa contra misiles balísticos. Los sistemas inteligentes son descripciones detalladas, expresadas como reglas de programación, de los diversos algoritmos deductivos que utilizan los expertos humanos para planear o tomar decisiones en cada una de sus especialidades. Así, los sistemas inteligentes utilizan algoritmos informales o reglas rutinarias. Por ejemplo, uno de esos sistemas que tuviera la siguiente frase como dato: "El lanzamiento de un ICBM soviético supone una amenaza para los Estados Unidos", podría invertir el orden de la frase, y utilizarlo como regla legítima de deducción: "Si existe una amenaza contra los Estados Unidos se debe al lanzamiento de un ICBM por parte soviética". La validez de esta herramienta deductiva no puede aprobarse o desecharse usando el razonamiento habitual de la lógica formal; la frase no es cierta siempre, pero es prudente la mayoría de las veces. La fiabilidad de los procedimientos de razonamiento informal de los sistemas inteligentes de programación deja abierta la posibilidad de que se produzca un error debido a contradicciones conceptuales profundamente arraigadas en el sistema.

Hasta la fecha, la investigación en sistemas expertos se ha localizado en áreas bien definidas, como la bioquímica y la medicina interna. En esas áreas, la pericia humana se ha desarrollado lo suficiente para que esos sistemas resulten satisfactorios. Lo que no obsta para que esas técnicas tengan un alcance limitado. Quienes recomiendan aplicar sistemas inteligentes a la dirección del combate en el sistema de defensa contra misiles balísticos ignoran que la pericia humana es fruto de la experiencia, y nadie domina los ataques de misiles nucleares por su experiencia práctica.

Igualmente improbable es la idea de que la programación automática (el uso de programas de ordenador para escribir otros programas) pueda constituir una solución del problema. El comandante de las Fuerzas Aéreas Simon Worden, ayudante especial del director del Organismo para la Iniciativa de Defensa Estratégica, acaba de manifestar: "Vamos a desarrollar nuevos sistemas de inteligencia artificial, para escribir los programas del sistema. La eliminación de sus errores también será cometido del sistema de inteligencia artificial". Frases como esa inducen a error. La función fundamental de la programación automática consiste en aliviar las dificultades técnicas que

comporta traducir en programa las especificaciones del diseño del sistema y modificar una codificación ya existente. Sin embargo, aproximadamente la mitad de todos los errores de programación proceden de elecciones humanas y de decisiones tomadas durante las fases de planificación y diseño, que no pueden delegarse en una programación automática.

Basándonos en el análisis anterior, mostramos ahora dos situaciones que ilustran cómo podrían fallar los programas de un sistema de defensa total contra misiles balísticos. Supongamos que una estación de combate que ha interceptado con éxito dos misiles durante un ejercicio operativo utilizando una guía electromagnética se enfrenta ahora a un ataque de misiles soviéticos a gran escala. Inicialmente, los proyectiles lanzados desde la estación de combate destruyen sus objetivos pero, desafortunadamente, en la fase de diseño del sistema no se tuvo en cuenta que cuanto menor es la masa de un cuerpo mayor es su retroceso. A medida que se van lanzando proyectiles, el retroceso es cada vez mayor, lo cual afecta a los algoritmos de puntería de la guía electromagnética. Así, los últimos proyectiles son demasiado lentos y no alcanzan sus objetivos en el momento adecuado. Supongamos, también, que durante la fase inicial de una guerra nuclear, los dirigentes de las dos superpotencias acuerdan un alto el fuego. Los americanos descubren que el capitán de un submarino no recibirá el mensaje del cese de hostilidades a tiempo, pero confían en que los satélites de defensa estadounidenses derriben todos los misiles lanzados erróneamente. Cuando el submarino ha lanzado sus misiles, se advierte trágicamente que no se había considerado la posibilidad de que los satélites destruyeran armamento propio. Las armas explotan en la Unión Soviética con consecuencias catastróficas.

Es poco probable que llegue a producirse alguno de los fallos descritos en este artículo, pues ya son errores predecibles. El problema fundamental no consiste en saber si el sistema tiene un determinado error, sino en conocer con qué probabilidad puede contener uno cualquiera de los millones de errores potenciales. La principal inquietud se centra, pues, en aquellos fallos potenciales cuya predicción sigue siendo imposible.

Todos los ejemplos citados aquí guardan relación con programas planeados, diseñados, redactados y que sufrieron un proceso de depuración por experimentados ingenieros de programación: la mayoría, si no todos, hubieron de corregirse. La técnica general para subsanar estos errores, su descubrimiento mediante el uso real del programa y su posterior correción, difícilmente será útil en el desarrollo de un sistema BMD. Así, un sistema de defensa total contra misiles balísticos requiere no sólo que los programas funcionen bien la primera vez en un entorno impredecible y sin haberse sometido a pruebas de gran escala, sino también que sus diseñadores estén seguros de que lo haga. La administración Reagan ha manifestado que las pruebas empíricas son esenciales para mantener la seguridad de las armas nucleares y, por ese motivo, se ha opuesto a una prohibición global de las pruebas. Cabe preguntarse quién confiará en un sistema de defensa total contra misiles balísticos, que, cuando menos, será tan complicado como lo son ahora las armas nucleares, sin que haya demostrado su capacidad de superar pruebas comparables.

Los partidarios de la Iniciativa de Defensa Estratégica aducen que, incluso sin pruebas empíricas a gran escala, es deseable un sistema de defensa contra misiles balísticos, porque la posibilidad de que el sistema funcionara razonablemente bien disuadiría a los dirigentes soviéticos a plantearse la posibilidad de un ataque. Otros argumentan que los objetivos de la Iniciativa de Defensa Estratégica son realmente más modestos que los de un sistema de defensa total contra misiles balísticos, y que quizás un sistema BMD resulte más apropiado para proteger asentamientos militares, como los silos de misiles. Naturalmente, frente a objetivos más limitados que los de la defensa total contra misiles balísticos, la perfección ya no es un requisito imprescindible y, por tanto, la ejecución de ensayos resulta mucho más fácil. Aunque un programa con objetivos más limitados tenga una probabilidad más alta de éxito, la propia limitación plantea un nuevo problema, en concreto, la contradicción con la visión planteada por el presidente Reagan de eliminar la amenaza de los misiles balísticos nucleares. En consecuencia, nos parece oportuno juzgar la fiabilidad de la Iniciativa de Defensa Estratégica en razón del reto que el presidente plantea a la comunidad científica. Y no parece previsible ninguna tecnología de programación que, hoy por hoy, dé soporte a un sistema de defensa contra misiles balísticos.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

SOPORTE LOGICO PARA LA DEFENSA ANTIMISIL

SAFEGUARD DATA-PROCESSING SYSTEM. *The Bell System Technical Journal*, vol. 54, suplemento especial; 1975.

SOFTWARE ENGINEERING ECONOMICS. Barry W. Boehm. Prentice-Hall, Inc., 1981.

CONJUGACION DE FASE OPTICA

OPTICAL PHASE CONJUGATION. Dirigido por R. A. Fischer. Academic Press, 1983.

OPTICAL PHASE CONJUGATION. Número especial del *Journal of the Optical Society of America*, vol. 73, n.° 5; mayo, 1983.

PRINCIPLES OF PHASE CONJUGATION. B. Ya. Zel'dovich, N. F. Pilipetsky y V. V. Shkunov. Springer-Verlag, 1985.

COMUNICACION POR VIA ACUSTICA EN EL GRILLO

TYMPANAL MEMBRANE MOTION IS NECESSARY FOR HEARING IN CRICKETS. Hans-Ulrich Kleindienst, David W. Wohlers y Ole Naesbye Larsen en *Journal of Comparative Physiology*, vol. 151, págs. 397-400; 1983.

AUDITORY BEHAVIOR ON THE CRICKET, 3: TRACKING OF MALE CALLING SONG BY SURGICALLY AND DEVELOPMENTALLY ONE-EARED FEMALES, AND THE CURIOUS ROLE OF THE ANTERIOR TYMPANUM. Franz Huber, H.-U. Kleindienst, Theo Weber y John Thorson en *Journal of Comparative Physiology*, vol. 155, págs. 725-738; 1984.

TEMPORAL SELECTIVITY OF IDENTIFIED AUDITORY NEURONS IN THE CRICKET BRAIN. Klaus Schildberger en *Journal of Comparative Physiology*, vol. 155, págs. 171-185; 1984.

SIDA Y SISTEMA INMUNITARIO

IMMUNOREGULATORY LYMPHOKINES OF T HYBRIDOMAS FROM AIDS PATIENTS: CONSTITUTIVE AND INDUCIBLE SUPPRESSOR FACTORS. Jeffrey Laurence y Lloyd Mayer en *Science*, vol. 225, n.° 4657, págs. 66-69; 6 de julio de 1984.

LYMPHADENOPATHY-ASSOCIATED VIRAL ANTIBODY IN AIDS: IMMUNE CORRELATIONS AND DEFINITION OF A CARRIER STATE. Jeffrey Laurence, Françoise Brun-Vezinet, Steven E. Schutzer, Christine Rouzioux, David Klatzmann, Françoise Barré-Sinoussi, Jean-Claude Chermann y Luc Montagnier en *The New England Journal of Medicine*, vol. 311, n.° 20, págs. 1269-1273; 15 de noviembre de 1984.

IMMUNOLOGIC ABNORMALITIES IN THE ACQUIRED IMMUNODEFICIENCY SYNDROME (AIDS). A. S. Fauci en *Clinical Research*, vol. 32, n.° 5, págs. 491-499; diciembre, 1984.

EL SISTEMA ALCOHOLDESHIDROGENASA

THE COMPLETE AMINO ACID SEQUENCE OF THREE ALCOHOL DEHYDROGENASE ALLELOENZYMES FROM THE FRUITFLY *DROSOPHILA MELANOGASTER*. D. Thatcher en *Biochemical Journal*, vol. 187, págs. 875-886; 1980.

THE ALCOHOL DEHYDROGENASE POLYMORPHISM IN *DROSOPHILA* MELANOGASTER. W. van Delden en *Evolutionary Biology*, dirigido por M. K. Hecht, B. Wallace y G. T. Prance, vol. 15, págs. 187-222, Plenum Press; 1982.

ON THE EVOLUTIONARY RELATIONSHIPS OF *DROSOPHILA MELANOGASTER*. M. Ashburner, M. Bodmer y F. Lemeunier en *Developmental Genetics*, volumen 4, págs. 295-312; 1984.

CLONED *DROSOPHILA MELANOGASTER* ALCOHOL DEHYDROGENASE GENES ARE CORRECTLY EXPRESSED AFTER TRANSFECTION INTO *DROSOPHILA* CELLS IN CULTURE. C. Benyajati y J. F. Dray en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 81, págs. 1701-1705; 1984.

EL TEOREMA ENORME

ON THE STRUCTURE OF GROUPS OF FINITE ORDER. Richard Brauer en *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, vol. 1; 1954.

FINITE GROUPS. Daniel Gorenstein. Chelsea Publishing Co., 1980.

FINITE SIMPLE GROUPS: AN INTRODUCTION TO THEIR CLASSIFICATION. Daniel Gorenstein. Plenum Press, 1982.

THE FRIENDLY GIANT. Robert L. Griess, Jr., en *Inventiones Mathematicae*, vol. 69, n.° 1, págs. 1-102; 1982.

LA ALIMENTACION EN CHINA

AGRICULTURE IN CHINA'S MODERN ECONOMIC DEVELOPMENT. Nicholas R. Lardy. Cambridge University Press, 1983.

THE BAD EARTH: ENVIRONMENTAL: DEGRADATION IN CHINA. Vaclav Smil. M. E. Sharpe, Inc., 1984.

RURAL DEVELOPMENT IN CHINA. Dwight Perkins y Shahid Yusuf. A World Bank Publication, The Johns Hopkins University Press, 1984.

PLANOS DEL TEMPLO DE APOLO EN DIDYMA

VORARBEITEN ZU EINER TOPOGRAPHIE VON DIDYMA. Klaus Tuchelt. Deutsches Archäologisches Institut, Instanbuler Mitteilungen, Beiheft 9, Verlag Ernst Wasmuth, Tübingen, 1973.

GREEK ARCHITECTS AT WORK: PROBLEMS OF STRUCTURE AND DESIGN. J. J. Coulton. Cornell University Press, 1977.

JUEGOS DE ORDENADOR

APPLICATIONS OF NUMBERED UNDIRECTED GRAPHS. Gary S. Bloom y Solomon W. Golomb en *Proceedings of the IEEE*, vol. 65, n.° 4, págs. 562-570; abril, 1977.

GOLOMB'S GRACEFUL CURVE. Martin Gardner en *Wheels, Life and Other Mathematical Amusements*. W. H. Freeman and Company, 1983.

VARIATIONS IN THE ROTATION OF THE EARTH. W. E. Carter, D. S. Robertson, J. E. Pettey, B.D. Tapley, B.E. Schutz, R. J. Eanes y Miao Lufeng en *Science*, volumen 224, número 4652, páginas 957-961; 1 de junio de 1984.

TALLER Y LABORATORIO

MULTIPLE IMAGES IN PLANE MIRRORS. Thomas B. Geenslade, Jr., en *The Physics Teacher*, vol. 20, págs. 29-33; enero, 1982.

REFLECTIONS IN A POLISHED TUBE. Laurence A. Marschall y Emma Beth Marschall en *The Physics Teacher*, vol. 21, pág. 105; febrero, 1983.

THROUGH THE KALEIDOSCOPE. Cozy Baker. Beechcliff Books, 100 Severn Avenue, Suite 605, Annapolis, Md. 21403; 1985.